**تكيفات التدريب الرياضي في المرتفعات**

**Adaptation de l’entrainement en altitude**

**المحتويات**

1. **الظروف و الشروط المحيطية** 
   1. الضغط الجوي في المرتفعات
   2. درجة حرارة الهواء في المرتفعات
   3. الإشعاعات الشمسية في المرتفعات
2. **الاستجابات الفزيولوجية في المرتفعات**

2-1الاستجابات التنفسية في المرتفعات

* 1. استجابات الجهاز القلبي الوعائي في المرتفعات

1. **التكيف و الـتأقلم في المرتفعات**

3-1 التكيفات التنفسية

3-2 التكيفات الحاصلة في الدم

3-3 التكيفات العضلية

* 1. تكيفات الجهاز القلبي التنفسي

**تكيفات التدريب الرياضي في المرتفعات**

**Adaptation de l’entrainement en altitude**

1. **الظروف و الشروط المحيطية (Les conditions ambiantes ):**

**من اجل فهم تأثير الارتفاعات على التفوق الرياضي، يجب تحديد الانعكاسات الخاصة بالمرتفعات على المحيط .**

**1-1 الضغط الجوي في المرتفعات(La pression atmosphérique en altitude ):**

يكون الهواء ثقيل في المرتفعات، بحيث يعمل الضغط الجوي مباشرة بثقل الهواء الموجود في المنطقة، مثال على مستوى سطح البحر الطبقة الجوية تكون ذات عرض يصل إلى 38,6 كلم مع ضغط جوي مقدر بـ760 مم زئبقي وفي أعلى قمة على سطح الأرض إيفرست (8848م) ضغط الهواء لا يتجاوز 250 مم زئبقي . في قمة إيفرست الضغط الجوي المتوسط يصل من 243 مم ز في شهر جانفي إلى 255 مم ز في شهر جوان و جويلية ، وفي المرتفعات تبقى دائما نسبة الأكسجين 20,93 %، 0,03 % ثاني أكسيد الكربون، %79.04 أزوت، بحيث يختلف الضغط الجزئي للغازات فقط.

لا يبقى مستوى الضغط الجوي ثابت بحيث يمكن أن يتغير ،على مستوى قمة إفرست الضغط الجوي المتوسط يكون حوالي مم زئيقي 243 في شهر جانفي ويصل إلى 255 مم زئبقي في شهر جوان و جويلية كما يرتفع الضغط الجوي جزئيا عند الاقتراب من خط الاستواء .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Altitude (m) | 0 (niveau de la mer) | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 9000 |
| PB (mmHg) | **760** | **674** | **596** | **526** | **462** | **231** |
| PO2 (mmHg) | **159,1** | **141,1** | **124,7** | **110,0** | **96,7** | **48, 3** |
| Température  (C°) | **15** | **9** | **2** | **-5** | **-11** | **-43** |

**1-2 درجة حرارة الهواء في المرتفعات ( La température de l’aire en altitude ):**

تنخفض درجة حرارة الهواء حوالي 1 درجة كلما ارتفعنا بـ 150م ، حيث تتراوح درجة الحرارة المتوسطة في قمة إيفرست -40 درجة مئوية أما على مستوى سطح البحر تصل إلى 15 درجة ، في المرتفعات مستوى الرطوبة ينخفض مع إنخفاض مستويات الحرارة. الهواء بارد يحتوي على كميات قليلة من الماء. الضغط الجزئي للماء عند درجة 20° يكون حوالي 17 مم زئبقي ولكن عند أقل من -20° ينخفض الضغط إلى حوالي 1مم زئبقي . انخفاض مستوى الرطوبة في الارتفاعات ينتج عنه زيادة في فقدان الماء (جفاف الجسم) بسبب عملية التبخر التنفسي نظرا لأن الهواء المتنفس أكثر جفافا مع مستويات مرتفعة للتنفس. الهواء الجاف يرفع كذلك من عملية التبخر العرقي في حالة التمرينات المنجزة .

**1- 3 الإشعاع الشمسي في المرتفعات ( Les Rayonnement solaire en altitude):**

ترتفع شدة الإشعاع الشمسي في المرتفعات نظرا لسببين :

* نقصان امتصاص الأشعة الفوق بنفسجية عند الاقتراب من مصدر الإرسال.
* يفتقر الهواء إلى بخار الماء والذي له دور في امتصاص كمية قليلة من هذه الإشعاعات.

1. **الاستجابات الفزيولوجية في المرتفعات (Les repenses physiologique en altitude):** 
   1. **الاستجابات التنفسية في المرتفعات (Les réponses respiratoires en altitude ):**

**2-1-1 التهوية الرئوية ( la ventilation pulmonaire ) :**

ترتفع التهوية الرئوية في المرتفعات وهذا سواء في الراحة أو أثناء أداء التمرينات ، المستقبلات الكيميائية في الشريان الابهر أو الشريان السباتي تحفز بسبب انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين PO2 وهذا يؤدي بوصول رسائل إلى مركز التنفس في الدماغ ، و نظرا لانخفاض في جزيئات الأكسجين في الهواء، بالتالي يجب الزيادة في حجم الهواء المتنفس بزيادة في التهوية الرئوية لتحقيق نفس الكمية على مستوى سطح البحر . هذه الزيادة في عملية الهواء تهدف إلى التخفيض في نسبة أكسيد الكربون في الحويصلات بحيث يرتفع الفرق الشرياني الوريدي بين الحويصلات والشعيرات الرئوية مما يؤدي إلى انخفاض في أكسيد الكربون في الدم و الضغط الجزئي، أي تسهيل إزالة أيونات H+.

**2-1-2 الانتشار الرئوي ونقل الأكسجين la diffusion pulmonaire et le transport de) l’oxygène ):**

يتراوح الضغط الجزئي للأكسجين في على مستولى سطح البحر حوالي 159 مم زئبقي بحيث ينخفض إلى 118 مم ز عند ارتفاع 2439 م، التدرج في الضغط الجزئي بين الحويصلات و الشعيرات ينخفض مما يؤدي إلى نقصان في شدة المبادلات الغازية في هذا المستوى، بحيث أن نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأكسجين تصل إلى 98 %على مستوى سطح البحر ولا تتجاوز 92% عند ارتفاع 2439م**.**

في المرتفعات انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين في الحويصلات يؤثر على مستوى تشبع الهيموغلوبين بالأكسجين، على مستوى سطح البحر من أجل ضغط جزئي للأكسجين 104مم زئبقي نسبة تشبع الهيموغلوبين تصل إلى 96-97% . في المرتفعات 4300 و بالرغم من انخفاض PO2 على مستوى الحويصلات 46 مم زئبقي تنخفض نسبة التشبع إلى 80%، بالرغم من انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين تبقى مستويات تشبع الهيموغلوبين نوعا ما مرتفعة.

**2-1-3 -المبادلات الغازية العضلية (les échanges gazeux musculaires):**

على مستوى سطح البحر الضغط الجزئي للأكسجين يصل إلى 100 مم ز داخل الحويصلات و الضغط الجزئي النسيجي يصل إلى 40 مم ز ، التدرج في الضغط الجزئي بين الوسط الشرياني و النسيجي يتراوح إلى 60 مم ز، و في المرتفعات 4300م الضغط الجزئي PO2 الشرياني يساوي حوالي 46 مم ز و الضغط النسيجي حوالي 27 مم ز، التدرج في الضغط بين الوسطين يصل إلى 20 مم ز بنسبة انخفاض تقدر بـ70 %، المبادلات الغازية تكون عن طريق التدرج في الضغط ، رئيسيا الانخفاض في الضغط الجزئي للأكسجين في الجهاز الشرياني يؤدي إلى انخفاض في VO2 max، أو انخفاض نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأكسجين.

**2-1-4 الاستهلاك الأقصى للأكسجين ( la consommation maximale d’oxygène):**

بالنسبة لمتسلقي الجبال في قمم إيفرست سنة 1981 سجلت قيم لـVO2 max بحيث ينخفض من 62 مل\كغ\د على مستوى سطح البحر إلى 15 مل\كغ\د في قمم جبال إيفرست، هذه القيمة للأكسجين تسمح بتنفيذ محدود للتمرينات البدنية ، كما أوضح (pugh et coll) على مستوى سطح البحر قيمة VO2 max الابتدائية 50 مل\كغ\د، ومن أجل العيش في قمم إيفرست لا يتجاوز الحد الأقصى للأكسجين المستهلك 5مل\كغ\د و هذا لا يكاد يكفي من أجل حياة طبيعية مع نشاط بدني منخفض، و في أقل من 1600 م يمكن أن تؤثر المرتفعات على VO2 max و التحمل، في هذا الارتفاع ينخفض الحد الأقصى للأكسجين المستهلك من 8 % إلى 11% في كل 1000 م .

* 1. **استجابات الجهاز القلبي الوعائي في المرتفعات (Les réponse cardiovasculaires en altitude ) :**

لا تؤثر المرتفعات على الجهاز التنفسي فقط بل إنها قد تؤثر أيضا على الجهاز القلبي الوعائي وهذا بظهور مجموعة من التكيفات نتيجة انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين في المرتفعات .

* + 1. **حجم الدم ( le volume sanguin ):**

في الساعات الأولى التي تتبع الوصول إلى المرتفعات، ينخفض الحجم البلازمي للدم و هذا راجع إلى عملية إفراغ البول، وزيادة فقدان الماء عند التنفس راجع ذلك إلى جفاف الهواء من جهة وزيادة عملية التهوية، هذا الانخفاض في الحجم البلازمي قد يصل إلى 25 %. و هذا دون التغير في عدد الكريات الدموية الحمراء، هذا النقص في الحجم البلازمي يصاحبه نقص أولي في حجم الدم الكلي مع زيادة في الكسر الحجمي للكريات الحمراء(hématocrite) .

عند طول مدة التوضع في المرتفعات يحفز إفراز هرمون (l’érythropoïétine) من طرف الكلى و هو هرمون يحفز إنتاج (érythrocytes) كريات الدم الحمراء، مما يرفع من نسبتها في كل 1مل من الدم، يصاحب ذلك زيادة في نقل و توفير الأكسجين على مستوى الأنسجة. هذه الزيادة ينتج عنها تدريجيا زيادة في الحجم البلازمي للدم وتعويض انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين.

**2-2-2 حجم الضربة ( le débit cardiaque):**

إن الانخفاض في الضغط الجزئي للأكسجين في الدم يخفض من التدرج في الضغط الجزئي بين الدم والأنسجة و يحدد نقل الأكسجين و توفيره على مستوى الأنسجة و العضلات ، نظريا يمكن تعويض ذلك بزيادة في حجم الضربة، تؤدي المرتفعات سواء في الراحة أو التمرينات البدنية إلى زيادة في حجم الضربة.

يرتفع النبض القلبي عند مستوى التمرينات البدنية تحت قصوى في المرتفعات مقارنة بمستوى سطح البحر،على العكس ينخفض حجم الدفع القلبي بسبب انخفاض الحجم البلازمي للدم، ومن حسن الحض أن الزيادة في النبض القلبي يمكن أن تعوض النقص في حجم الدفع القلبي و بالتالي الزيادة التدريجية في حجم الضربة، كل هذه العوامل تؤدي إلى حمولة زائدة في العمل على القلب بحيث لا تستمر لفترة طويلة، بعد مدة من الأيام تصبح العضلات أكثر قدرة على نزع الأكسجين مع زيادة في الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين هذا ما يخفض من عمل القلب بالتالي نقص في النبض القلبي بعد مدة من التواجد في المرتفعات. بعد أيام ينخفض حجم الضربة مما كان عليه في الأيام الأولى عند التواجد في المرتفعات.

بالنسبة للمرتفعات الأكثر علو، حجم الدفع القلبي الأقصى و النبض القلبي الأقصى ينخفضان بشكل ملاحظ، بالنسبة لحجم الدفع القلبي ينخفض نظرا لنقصان في الحجم البلازمي، أما للنبض القلبي الأقصى راجع إلى نقصان في نشاط الجهاز العصبي السمبثاوي ( انخفاض في عدد أو نشاط مستقبلات β القلبية، (catécholaminergique هذا ما يخفض من حجم الضربة الأقصى ومن جهة أخرى مع نقصان في تدرج انتشار الأكسجين بين الشعيرات و الأنسجة، يؤثر ذلك على الحجم الأقصى للأكسجين و القدرات البدنية ككل . رئيسيا التواجد في المرتفعات يؤدي إلى نقص في توفير و توزيع الأكسجين في العضلات مع نقص في قدرة الجسم على إنجاز تمرينات بدنية هوائية بشدة مرتفعة.

**2-2-3 ارتفاع الضغط الشرياني الرئوي( (l’hypertension Artérielle pulmonaire :**

في المرتفعات يرتفع الضغط في الشرايين الرئوية بصورة ملاحظة عند أداء التمرينات بالنسبة للأشخاص اللذين لديهم تكيف أو لا، الآلية المسئولة عن هذا الارتفاع غير محددة إلى حد الآن، وضع من المحتمل أن يكون هناك تحولات بنيوية في جدران الأوعية الدموية الرئوية استجابة لانقباض العروق vasoconstriction hypoxique نظرا لنقص الأكسجين في الدم، إن الزيادة في الضغط الشرياني الرئوي و التهوية الرئوية يؤدي إلى زيادة في تدفق الدم على مستوى الرئتين مما يسمح بالرفع من مساحة المبادلات بين الهواء و الدم .

**2-2-3 التكيفات الأيضية في المرتفعات (Les adaptations métaboliques à l’altitude ):**

التوضع في المرتفعات يرفع من مستوى العمليات الايضية في الراحة مع تحفيز إفراز بعض الهرمونات مثل الثيروكسين و الكاتي كولامين، في نفس الوقت حدوث اضطراب في الشهية عند الأيام الأولى. في حالة عدم الاكتفاء من المواد الغذائية يؤدي ذلك إلى فقدان الوزن، بالنسبة للأشخاص الذين يحافظون على الوزن يرفعون من مستوى المواد السكرية في الراحة.

انخفاض إمكانيات الأكسدة في المرتفعات، يصاحبه استخدام متزايد لعمليات الهدم اللاهوائية في المرتفعات وهذا من أجل تحقيق الاكتفاء لزيادة المتطلبات الطاقوية عند أداء التمرينات، مما يلاحظ زيادة في تركيز الدم لحمض اللبن عند التمرينات البدنية التحت قصوى في الأيام الأولى، وفي حالة طول مدة التوضع في المرتفعات تبقى مستويات تركيز حمض اللبن منخفضة على ما هو ملاحظ عند مستوى سطح البحر حتى عند التمرينات البدنية القصوى .

**3-**  **التكيف والتأقلم في المرتفعات( acclimatation a l’altitude):**

بالنسبة للأشخاص الذين لهم عدة أسابيع في المرتفعات يتأقلم الجسم لنقص الضغط الجزئي للأكسجين، ومهما كانت هذه التكيفات لا تسمح بالتعويض الكلي للنقص الحاصل في الأكسجين. و حتى بالنسبة للأشخاص المتميزين بالتحمل مع البقاء لمدة طويلة في المرتفعات لا يصلون أبدا لنفس المستوى لحجم الأكسجين الأقصى مثل ما هو على مستوى سطح البحر. هذه التأقلمات تكون على مستوى الدم، العضلات، الجهاز القلبي التنفسي.

**3-1** **(التكيفات التنفسية Adaptations respiratoire):**

التكيف الرئيسي الحاصل في المرتفعات فيما يخص عملية التنفس هو زيادة عملية التهوئة الرئوية في الراحة و عند التمرينات بعد 3 إلى 4 أيام من التوضع في إرتفاع 4000م التهوئة في الراحة ترتفع حوالي 40% مقارنة بالتواجد على مستوى سطح البحر، في التمرينات ذات الشدة الأقل من القصوى فرط التهوئة يستقر عند 50% .

**3-2 التكيفات الحاصلة في الدم (les adaptations sanguines):**

بعد عدة أسابيع من التواجد في المرتفعات نلاحظ زيادة في عدد الكريات الدموية، نقص الأكسجين يحفز إفراز هرمون L’érythropoïétine ، الذي يعمل على تنشيط تصنيع الكريات الحمراء، في الثلاث الساعات الأولى عند الوصول إلى المرتفعات يرتفع مستوى تركيز هذا الهرمون في الدم بحيث يصل إلى أقصاه بعد 24 إلى 48 ساعة، و بعد التواجد لمدة 6 أسابيع في مرتفع 4000 م يرتفع حجم الدم بنسبة 9 إلى 10 %. هذه الزيادة لا ترجع فقط إلى زيادة و نشاط هرمون L’érythropoïétine.

بل أيضا ترجع إلى التوسع في الحجم البلازمي، بالنسبة للأشخاص الذين يعيشون في البيرو (4540م) لديهم نسبة 60 إلى 65 % في الكسر الحجمي للكريات الدموية الحمراء (hématocrite) هذه القيمة تتجاوز القيم المتوسطة التي تتراوح بين 45 إلى 48 % الملاحظة على مستوى سطح البحر، وما هو ملاحظ بالنسبة للكسر الحجمي للكريات الحمراء للأشخاص الذين يعيشون على مستوى سطح البحر أنها ترتفع لتصل إلى 59 % بعد 6 أسابيع من التواجد في المرتفعات.

إن الزيادة في عدد الكريات الدموية الحمراء يصاحبه زيادة في تركيز الدم بالهيموغلوبين الذي يرتفع عند التواجد في المرتفعات، هذا التأقلم يسمح بزيادة نقل الأكسجين في الدم، التكيفات الحاصلة بعد مدة من التواجد في المرتفعات تسمح بزيادة جديدة في الحجم البلازمي للدم و عدد الكريات الدموية الحمراء، هذه التكيفات تسمح فقط بتحسين نقل الأكسجين و لا تكفي من أجل تحقيق نفس المستويات لحجم الأكسجين الأقصى المستهلك (VO2 max) عند التواجد على مستوى سطح البحر.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Paramètres** | **Variation** | **% variation** |
| **Surface de muscle** | **Diminution** | **11-13** |
| **Surface des fibres lentes (ST)** | **Diminution** | **21-25** |
| **Surface des fibres rapides (FT)** | **Diminution** | **19** |
| **Densité capillaire (capillaires par mm2 )** | **Augmentation** | **13** |
| **Succincte déshydrogénase** | **Diminution** | **25** |
| **Citrate synthase** | **Diminution** | **21** |
| **phosphorylase** | **Diminution** | **32** |
| **phosphofructokinase** | **Diminution** | **48** |

**3-3 التكيفات العضلية (les adaptations musculaires):**

تنخفض مساحة الألياف العضلية وبالتالي مساحة العضلة ككل في المرتفعات ، أما كثافة الشعيرات الدموية ترتفع مما يحسن من إمكانية توفير وتوزيع الأكسجين في العضلات، حسب (Costill et coll) بالنسبة لستة متسلقي الجبال في قمة (McKinley) فقدوا حوالي 6 كلغ في الوزن، هذا الفقدان راجع إلى نحول الجسم و نقصان حجم الماء في الوسط الخارجي للخلايا .

إن التوضع في المرتفعات العالية لمدة طويلة يؤدي إلى نقص في الشهية وبالتالي نقص في الوزن بصورة غير مهمة، هذا النقص في الوزن راجع إلى نقص حجم الماء في الوسط الخارجي للخلايا والذوبان العضلي، أي بمعنى نقصان في مساحة الألياف العضلية البطيئة والسريعة، كذلك من المعتقد منطقيا فقدان الشهية يحفز على إزالة البروتينات العضلية.

عدة أسابيع من التواجد في المرتفعات أكثر من 2500م تؤدي إلى التخفيض في القدرة الايضية للعضلات هذة النتيجة تصبح أكثر دلالة بعد 3 إلى 4 أسابيع في المرتفعات العالية ، و في قمة إيفرست لوحظ انخفاض في نشاط الأنزيمات الجليكوليكية و الميتوكوندرية على مستوى عضلات الفخد و الساق، في هذه المرتفعات لا ينخفض محتوى الأكسجين فقط في العضلات بل يتعدى ذلك نقص في قدرة الفسفرة التأكسدية و الجليكوليكية في العضلات و هذا ما يؤثر على الاداء الهوائي و اللاهوائي .

**3-4 التكيفات الجهاز القلبي التنفسي(les adaptations cardiorespiratoires):**

الزيادة في التهوية الرئوية عند الراحة و التمرينات البدنية تعتبر التكيف الرئيسي الحاصل في المرتفعات، و هذا نتيجة للنقص في الضغط الجزئي للأكسجين في الهواء المتنفس، عند مرتفع 4000م يمكن أن ترتفع التهوية الرئوية حوالي 50 % في الراحة، أثناء التمرينات البدنية تحت قصوى ترتفع مستويات التهوية من أجل إزالة غاز CO2 أي بمعنى وسط أقل حموضة ، من أجل العمل على الرفع من درجة الحموضة PH يعمل الجسم على التخفيض من مستوى البيكربونات في الدم.